

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 196 47 876 A 1

51 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
G01 L 1/18  
// B25J 5/00

21 Aktenzeichen: 196 47 876.8  
22 Anmeldetag: 19. 11. 96  
43 Offenlegungstag: 17. 4. 97

DE 196 47 876 A 1  
10/075075  
02/13/02

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

71 Anmelder:  
Weiß, Karsten, 71636 Ludwigsburg, DE

72 Erfinder:  
gleich Anmelder

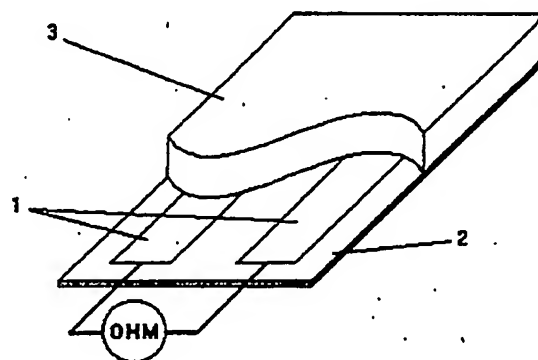
Rechercheantrag gem. § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt

54 Sensor zur Messung von mechanischen Kräften

67 Gewöhnliche Kraftsensoren haben den Nachteil, sehr empfindlich gegenüber Meßbereichs-Überschreitungen zu reagieren. So können Piezokeramiken zertrümmert, Dehnungsmessstreifen zerrissen und Siliziummembranen durchbrochen werden, was komplizierte Schutzmechanismen für das Sensormaterial nötig macht. Der neue Kraftsensor ist robuster, preisgünstiger herzustellen und läßt sich zudem noch als ein- oder zweidimensionales Sensorarray ausführen.

Der Sensor besteht im wesentlichen aus einer Grundfläche (2) mit zwei Elektroden (1). Auf die Grundfläche wird ein mit Graphitpulver angereichertes aufgeschäumtes Polymer (3) aufgebracht, dessen Widerstand sich verkleinert, wenn es zusammengepreßt wird. Auch können unter dem Polymer mehrere Elektrodenpaare nebeneinander angeordnet sein, was eine ortsauflösende bzw. flächenabhängige Kraftmessung ermöglicht.

Der Sensor kann z. B. als Endschalter mit variabler Schaltschwelle oder, mit einer zusätzlichen Masse versehen, als Vibrationsdetektor eingesetzt werden. Die Ausführung als Sensorarray findet Anwendung z. B. bei der Konturerfassung an Werkstücken oder zur analogen Sollgrößenangabe an Maschinen. Auch ist mit diesen Sensorarrays ein "führender" Robotergreifer realisierbar.



DE 196 47 876 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung betrifft einen Meßwertaufnehmer zur Messung von mechanischen Kräften.

Zur Messung von Druckkräften sind Meßwertaufnehmer bekannt, die aus einer piezoelektrischen Keramik bestehen, in der sich unter Krafteinwirkung Ladungen verschieben. Diese Ladungsverschiebung stellt ein Maß für die ausgeübte Kraft auf den Aufnehmer dar. Zur Messung von Dehnungen als Folge von Krafteinwirkungen werden "Dehnungsmeßstreifen" verwendet. Hierbei handelt es sich um Kunststoff-Folien, auf die sehr dünne Leiterbahnen aufgebracht sind, welche unter Dehnung ihren Widerstand ändern. Zur Messung von Gas- und Flüssigkeitsdrücken werden vorwiegend Sensoren auf Silizium-Basis verwendet. Hierbei wird eine Silizium-Membran verformt, welche dadurch ihren Widerstand ändert.

Die obengenannten Sensoren haben den Nachteil, daß sie sehr empfindlich gegenüber Meßbereichs-Überschreitungen reagieren. So können Piezokeramiken zertrümmert, Dehnungsmeßstreifen zerrissen und Siliziummembranen durchbrochen werden, was komplizierte Schutzmechanismen für das Sensormaterial nötig macht.

Vor allem ist die Herstellung von Drucksensoren auf Silizium-Basis, welche in Reinräumen hoher Güteklasse erfolgen muß, sehr aufwendig. Dies macht die Sensoren relativ teuer. Meist benötigen die obengenannten Aufnehmer eine komplizierte und teure Auswertungs-Elektronik, was die Sensoren für low-cost-Anwendungen uninteressant macht. Zum Beispiel werden für Dehnungsmeßstreifen hochempfindliche Verstärker benötigt, um diese sehr niederohmigen Sensoren auszuwerten.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen einfach aufgebauten, robusten Meßwert-Aufnehmer vorzuschlagen, welcher eine kostengünstige Messung von Kräften für eine Vielzahl von Anwendungen ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Meßwert-Aufnehmer mit den Merkmalen der Ansprüche 1 bis 4 gelöst.

Die Erfindung ermöglicht es, Kräfte ohne aufwendige Schutzmechanismen zu messen, da das Sensormaterial durch Meßbereichsüberschreitungen nicht zerstört werden kann.

Die Herstellung der erfindungsgemäßen Sensoren ist sehr einfach und kostengünstig. Als Ausgangsmaterial wurden leitfähige, aufgeschäumte Polymere verwendet, wie sie beispielsweise bei der Verpackung von elektronischen Bauteilen Anwendung finden. Dank ihrer Robustheit können die Kraftsensoren auch als Endschalter in Maschinen eingesetzt werden, da sie wesentlich stabiler als normale Mikroschalter sind und zusätzlich aufgrund ihres analogen Ausgangssignals eine variable Schaltschwelle ermöglichen.

Die Kraftsensoren können als ein- sowie als zweidimensionale Sensorarrays angeordnet werden. Dadurch ist es unter anderem möglich, die Lage von Körpern zu erfassen. Mit einem solchen Sensorarray kann eine flächenbezogene Kraft auf einen Körper gemessen werden, was vor allem für Fühler in Robotergriffen, die die wirkende Kraft auf das zu greifende Objekt messen, von Bedeutung ist.

Auch als Stoßstangen für mobile Servicefahrzeuge wie z. B. Reinigungsroboter sind diese Sensorarrays geeignet, da sie im Gegensatz zu gewöhnlichen Bumpnern ortsauflösend sind und somit die Anstoßpunkte genau lokalisiert werden können. Nebenbei wirkt das Sensor-

material bei einer entsprechenden Schichtdicke auch noch als Knautschzone.

Nachfolgend werden einige mögliche Ausgestaltungen erfindungsgemäßer Sensoren näher beschrieben.

Fig. 2 zeigt ein analoges Eingabegerät für Sollgrößen. Es besteht erfindungsgemäß aus zwei oder mehreren Kraftsensoren nach Anspruch 4. Diese Kraftsensoren, im folgenden "Taste" genannt, sind mit einer Gummiabdeckung (4) geschützt und unter einem LC-Display (5) angeordnet. Dieses LC-Display zeigt die momentane Funktion (6) der Taste an (Softkey-Prinzip), sowie den momentanen Wert der Sollgröße (7), welcher mittels eines Balkens dargestellt wird. Drückt der Benutzer nun die Taste, so wird die Sollgröße je nach gemessener Kraft schneller oder langsamer vergrößert bzw. verkleinert. Anstatt einzelner Kraftsensoren kann auch ein eindimensionales Sensorarray nach Anspruch 5 eingesetzt werden.

Fig. 3 zeigt eine Ausführung als ortsauflösender Stoßstangen-Sensor für mobile Serviceroboter. Er besteht erfindungsgemäß aus einem eindimensionalen Sensorarray nach Anspruch 4. Dieses Sensorarray (8) wird rings um das Fahrzeug (9) herum angebracht. Stößt nun der Roboter an ein Hindernis (10), so kann vom angeschlossenen Computer (11) die Position des Hindernisses berechnet werden. Je nach Schubkraft des Roboters sollte die Dicke des Sensormaterials so gewählt werden, daß es eine ausreichende Knautschzone darstellt. Die Elektroden, welche auf den Kunststoff aufgebracht werden, können auch aus leitfähigen Elastomeren oder aus einer metallisierten Folie bestehen, wodurch eine elastische sowie drucksensitive "Haut" entsteht, mit der auch unebene Flächen an Fahrzeugen geschützt werden können (vgl. Anspruch 6f).

Fig. 4 zeigt einen Kraftsensor für Robotergriffe. Es handelt sich hierbei erfindungsgemäß um ein miniaturisiertes Sensorarray nach Anspruch 4, welches dazu dient, die Kraft, welche auf das Objekt im Robotergriff wirkt, zu messen, sowie die Kontur und die Position des Gegenstandes zu erfassen. In Fig. 3 ist der grundsätzliche Aufbau eines solchen Sensors dargestellt. Das Polymer (12) wird auf eine Epoxidplatte (13) mit geätzten und vergoldeten Elektroden (14) an den Rändern aufgeklebt (15). Die Elektroden sind mit einem Analogmultiplexer (16) auf der Rückseite der Epoxidplatte verbunden. Dieser Analogmultiplexer ist über ein Kabel mit einer Auswertungs elektronik, bestehend aus AD-Wandler und Microcontroller, verbunden, welche das Sensorsignal linearisiert und in ein geeignetes Ausgabeformat bringt. Um ein nachträgliches Einkleben des Sensors in einen vorhandenen Greifer zu ermöglichen, wurde ein U-förmiges Epoxid-Stück (17) vorgesehen, welches höher als der verwendete Analogmultiplexer-IC ist und diesen vor mechanischer Beschädigung schützt sowie als Montagefläche des Sensors fungiert.

Fig. 5 zeigt eine Ausführung als Endschalter mit variabler Auslöseschwelle. Dieser besteht erfindungsgemäß aus einem Kraftsensor (18) nach Anspruch 3, der auf einer Halterung (19) montiert und durch eine Gummihaut (20) geschützt ist. Der Ausgang des Kraftsensors führt auf einen Schmitt-Trigger mit einstellbarer Triggerschwelle (21), der ein digitales Ausgangssignal zur Verfügung stellt.

Fig. 6 zeigt eine Ausführung als zweidimensionales Array zur Lage- und Konturerfassung von Werkstücken. Dieser Sensor entspricht erfindungsgemäß einem Kraftsensorarray nach Anspruch 4, welcher zur Lageerkennung aber auch zur Prüfung von Werkstück-

en in der Produktion mit einer Apparatur wie z. B. einem Roboterarm auf das Probestück gedrückt werden kann, um dessen Kontur aufzunehmen. Die erhaltenen Daten können ähnlich wie Kamerabilder mit einem Bildanalyse-System weiterverarbeitet werden. Das Sensorarray besteht im wesentlichen aus der Polymer-Schicht (24) sowie einer Grundplatte (22) aus Epoxid, auf welcher die vergoldeten Sensorelektroden (23) aufgebracht sind, welche über Durchkontaktierungen mit der sich auf der Rückseite befindenden, als Signalmulti-plexer geschalteten Transistormatrix verbunden sind.

#### Patentansprüche

1. Sensor zur Messung von mechanischen Kräften, dadurch gekennzeichnet, daß als Ausgangssignal die Änderung der elektrischen Eigenschaften von leitfähigen bzw. leitfähig gemachten Polymeren unter Krafteinwirkung verwendet wird. 15
2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Sensormaterial ein mit Ruß oder Graphitpulver angereichertes aufgeschäumtes Elastomer benutzt wird, das seinen elektrischen Widerstand unter Krafteinwirkung ändert. 20
3. Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Messung der Widerstandsänderung dünne, nicht oxidierende Metallstreifen auf der Rückseite des Sensormaterials angeordnet sind. 25
4. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Elektrodenfläche (1) eine Epoxidplatine (2) mit geätzten Elektroden verwendet wird, auf welche wegen der besseren Kontakteigenschaften eine nichtoxidierende Metallschicht (z. B. Gold) aufgebracht (z. B. aufgalvanisiert) wird (Fig. 1). 30
5. Sensor nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Sensörzellen zu ein- oder zweidimensionalen Arrays verbunden sind. 35
6. Sensor nach Anspruch 1, 2, 3 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (z. B. aus Aluminium) auf eine Folie aufgebracht (z. B. aufgedampft) werden. 40
7. Sensorarray nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden aus leitfähigen Elastomeren bestehen. 45

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

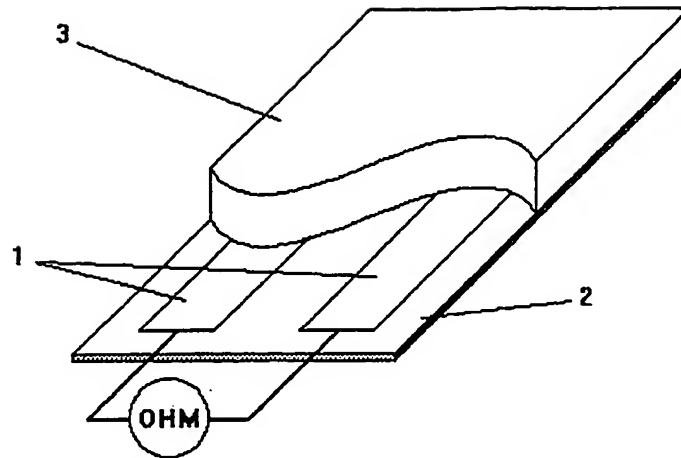


Fig. 1: Beispiel für einen Sensor nach Anspruch 3

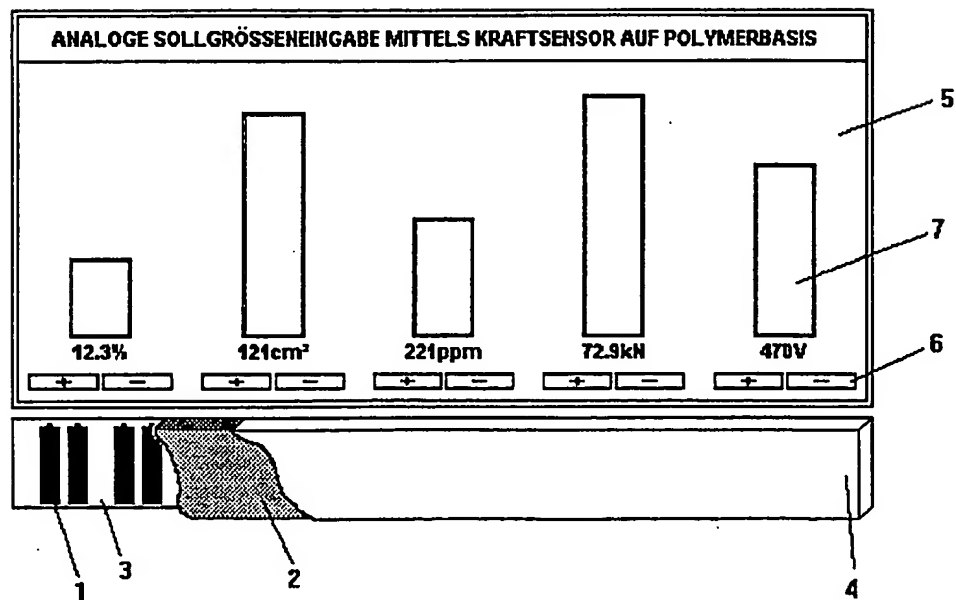


Fig. 2: Ausführungsbeispiel als analoges Eingabegerät für Sollgrößen

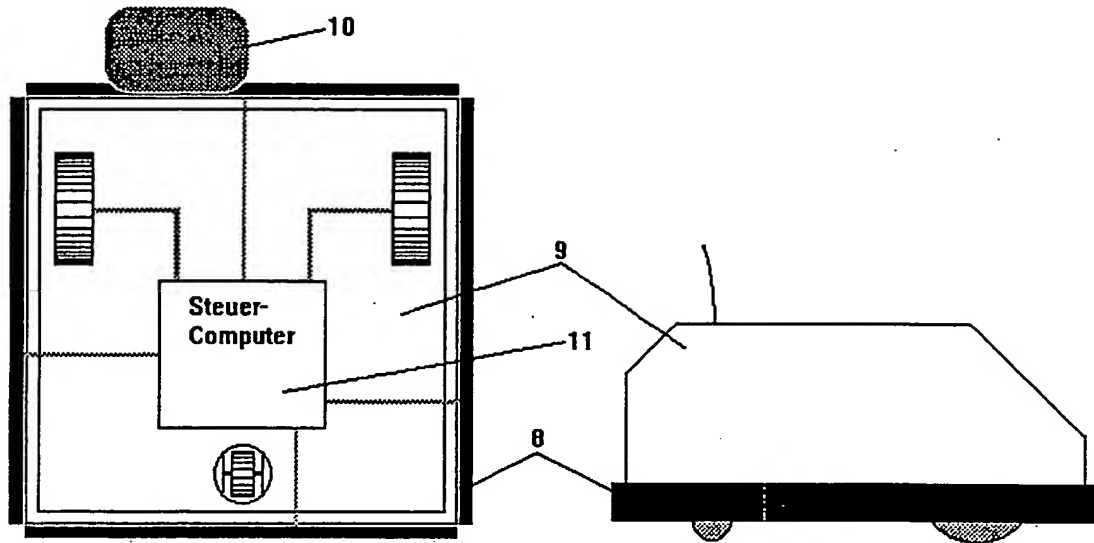


Fig. 3: Ausführungsbeispiel als ortsauflösender Stoßstangen-Sensor für Roboterfahrzeuge

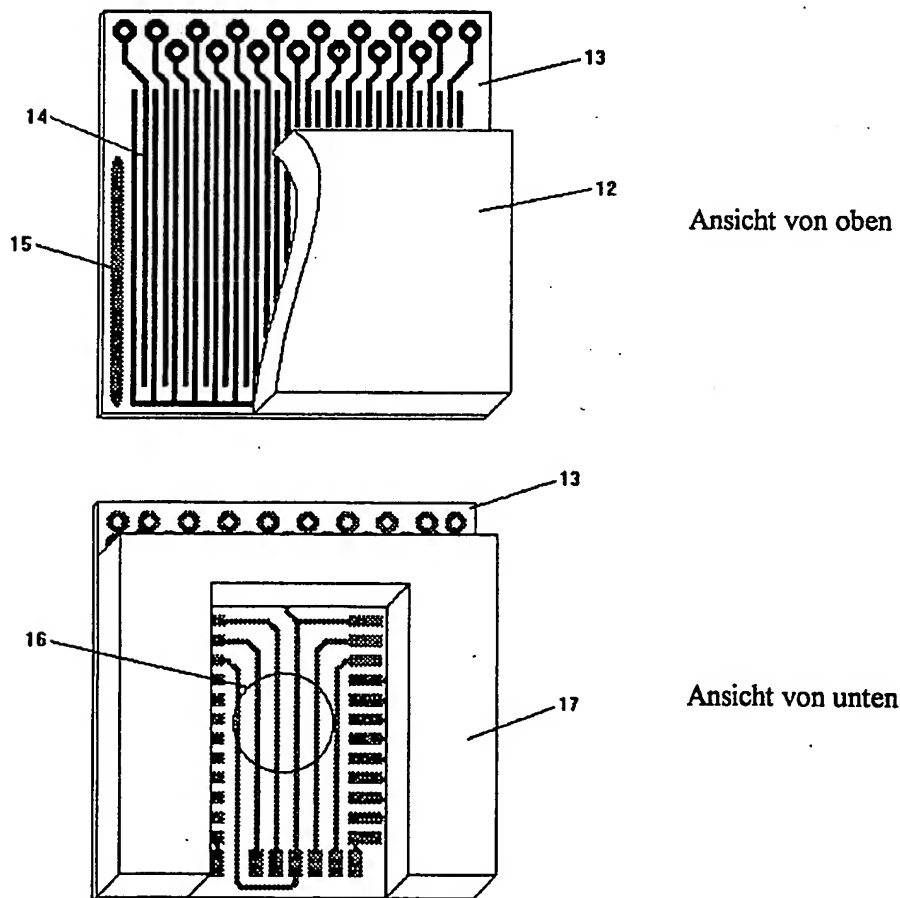


Fig. 4: Ausführungsbeispiel als Kraftsensor für Robotergreifer

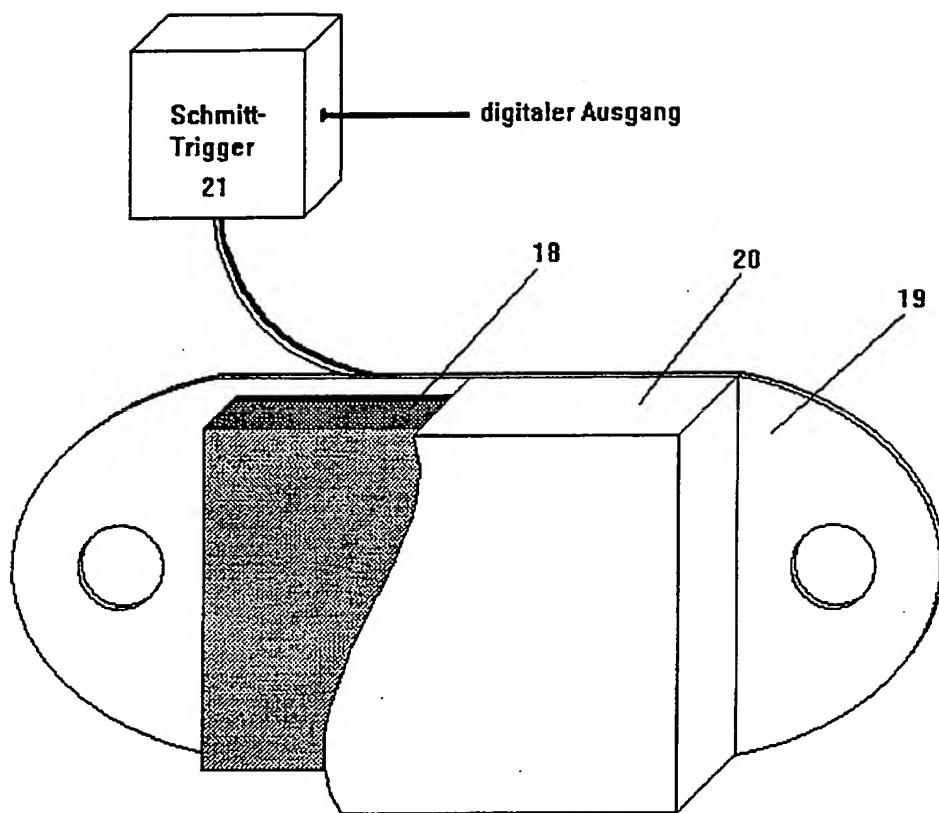


Fig. 5: Ausführungsbeispiel als Endschalter mit variabler Auslöseschwelle

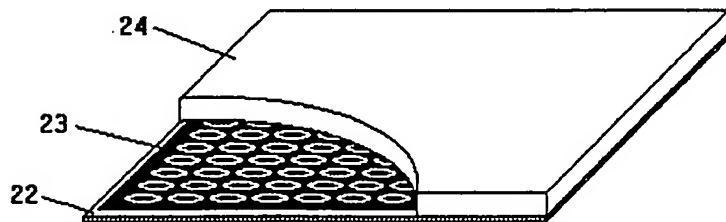


Fig. 6: Ausführungsbeispiel eines zweidimensionalen Sensorarrays

## Sensor for measuring mechanical forces

Customary force sensors have the disadvantage of being very sensitive in the way they respond to transgressions of the measuring range. For instance, piezoceramics may be shattered, strain gages may be torn apart and silicon membranes may be ruptured, which makes complicated protective mechanisms necessary for the sensor material. The novel force sensor is more robust and inexpensive to produce and, moreover, can also take the form of a one-dimensional or two-dimensional sensor array.

The sensor essentially comprises a base area (2) with two electrodes (1). An expanded polymer (3) enriched with graphite powder, the resistance of which is reduced when it is compressed, is applied to the base area. A number of pairs of electrodes may also be arranged next to one another under the polymer, which permits a location-resolving or area-dependent force measurement.

The sensor can be used for example as a limit switch with a variable switching threshold or, if provided

with an additional mass, as a vibration detector. The configuration as a sensor array is used, for example, for sensing the contours on workpieces or for analog setpoint-variable input at machines. "Feeling" robot grippers can also be realized with these sensor arrays.



## Description

The invention relates to a transducer for measuring mechanical forces.

For measuring compressive forces, transducers which comprise a piezoelectric ceramic in which charges are displaced under the effect of force are known. This charge displacement represents a measure of the force exerted on the transducer. For measuring strains as the result of effects of forces, "strain gages" are used. These are plastic membranes to which very thin conductor tracks which change their resistance under strain have been applied. For measuring gas and liquid pressures, silicon-based sensors are predominantly used. In this case, a silicon membrane is deformed, changing its resistance as a result.

The sensors mentioned above have the disadvantage that they are very sensitive in the way they respond to transgressions of the measuring range. For instance, piezoceramics may be shattered, strain gages torn apart and silicon membranes ruptured, which makes complicated protective mechanisms necessary for the sensor material.

In particular, the production of silicon-based pressure sensors, which must take place in clean rooms of a high degree of quality, is very complex. This makes the sensors relatively expensive. The transducers mentioned above usually require complicated and expensive evaluation electronics, which make the sensors unviable for low-cost applications. For example, highly sensitive amplifiers are required for strain gages in order to evaluate these very low-impedance sensors.

The object of the invention is to propose a robust transducer of a simple construction which permits a low-cost measurement of forces for a large number of applications.

This object is achieved according to the invention by a transducer with the features of claims 1 to 4.

The invention makes it possible to measure forces without complex protective mechanisms, since the sensor material cannot be destroyed by transgressions of the measuring range.

The production of the sensors according to the invention is very simple and inexpensive. Conductive, expanded polymers, such as are used for example in the packaging of electronic components, were used as the starting material. Thanks to their robustness, the force sensors can also be used as limit switches in machines, since they are much more stable than normal microswitches and, in addition, permit a variable switching threshold on account of their analog output signal.

The force sensors may be arranged as a one-dimensional sensor array and as a two-dimensional sensor array. As a result, it is possible, inter alia, to sense the position of bodies. With such a sensor array, an area-related force on a body can be measured, which is of significance in particular for feelers in robot grippers, which measure the force acting on the object to be gripped.

These sensor arrays are also suitable as bumpers for mobile service vehicles, such as for example cleaning robots, since, by contrast with customary bumpers, they are location-resolving, and consequently the impact points can be precisely localized. It is also the case

that, if it is of an appropriate thickness, the sensor material acts as a crumple zone.

Several possible configurations of sensors according to the invention are described in more detail below.

Figure 2 shows an analog input device for setpoint variables. According to the invention, it comprises two or more force sensors according to claim 4. These force sensors, referred to hereafter as "key", are protected by a rubber covering (4) and are arranged beneath an LC display (5). This LC display shows the momentary function (6) of the key (softkey principle), and also the momentary value of the setpoint variable (7), which is represented by means of a bar. If the user presses the key, the setpoint variable is increased or reduced more quickly or more slowly, depending on the force measured. Instead of individual force sensors, a one-dimensional sensor array according to claim 5 may also be used.

Figure 3 shows an embodiment as a location-resolving bumper sensor for mobile service robots. According to the invention, it comprises a one-dimensional sensor array according to claim 4. This sensor array (8) is

attached right around the vehicle (9). If the robot hits an obstacle (10), the position of the obstacle can be calculated by the connected computer (11). Depending on the pushing force of the robot, the thickness of the sensor material should be chosen such that it represents an adequate crumple zone. The electrodes which are applied to the plastic may comprise conductive elastomers or a metalized membrane, producing a flexible and pressure-sensitive "skin" with which even uneven surface areas on vehicles can be protected (cf. claim 6).

Figure 4 shows a force sensor for robot grippers. This is, according to the invention, a miniaturized sensor array according to claim 4, which serves the purpose of measuring the force which acts on the object in the robot gripper, and of sensing the contour and the position of the object. The basic construction of such a sensor is represented in figure 3. The polymer (12) is adhesively attached (15) to an epoxy blank (13) with etched and gold-plated electrodes (14) at the edges. The electrodes are connected to an analog multiplexer (16) on the rear side of the epoxy blank. This analog multiplexer is connected via a cable to evaluation electronics, comprising an AD converter and a

microcontroller, which linearizes the sensor signal and brings it into a suitable output format. To permit subsequent adhesive bonding of the sensor into an existing gripper, a U-shaped piece of epoxy (17) which is higher than the analog multiplexer IC used and protects the latter against mechanical damage, and also acts as a mounting surface for the sensor, was provided.

Figure 5 shows an embodiment as a limit switch with a variable triggering threshold. According to the invention, this switch comprises a force sensor (18) according to claim 3, which is fitted on a mount (19) and protected by a rubber shroud (20). The output of the force sensor leads to a Schmitt trigger with an adjustable trigger threshold (21), which delivers a digital output signal.

Figure 6 shows an embodiment as a two-dimensional array for sensing the position and contours of workpieces. This sensor corresponds according to the invention to a force sensor array according to figure 4, which, not only for position sensing but also for testing workpieces in production, can be pressed onto the test piece by an apparatus, such as for example a robot arm,

in order to record the contour of said piece. The data obtained can be further processed in a way similar to camera pictures by an image analysis system. The sensor array essentially comprises the polymer layer (24) and also a base plate (22) of epoxy, to which the gold-plated sensor electrodes (23), which are connected via plated-through holes to the transistor matrix located on the rear side and connected up as a signal multiplexer, have been applied.

Patent claims

1. Sensor for measuring mechanical forces, characterized in that the change in the electrical properties under the effect of force of conductive polymers or polymers made conductive is used as the output signal.
2. Sensor according to claim 1, characterized in that an expanded elastomer enriched with carbon black or graphite powder, which changes its electrical resistance under the effect of force, is used as the sensor material.
3. Sensor according to claim 2, characterized in that thin, non-oxidizing metal strips are arranged on the rear side of the sensor material for measuring the change in resistance.
4. Sensor according to claim 3, characterized in that an epoxy blank (2) with etched electrodes, to which a non-oxidizing metal layer (for example gold) has been applied (for example electrodeposited) is used as the electrode surface (1) (figure 1).



5. Sensor according to one of the above claims, characterized in that a number of sensor cells are connected to form a one-dimensional or two-dimensional array.
6. Sensor according to claim 1, 2, 3 or 5, characterized in that the electrodes (for example of aluminum) are applied (for example vapor-deposited) to a membrane.
7. Sensor array according to claim 5, characterized in that the electrodes consist of conductive elastomers.

3 associated pages of drawings

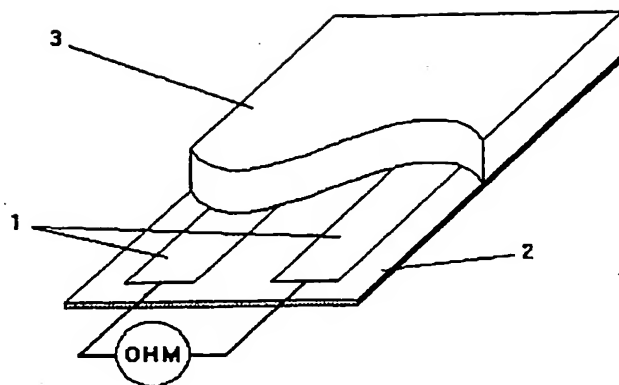


Figure 1: Example of a sensor according to claim 3

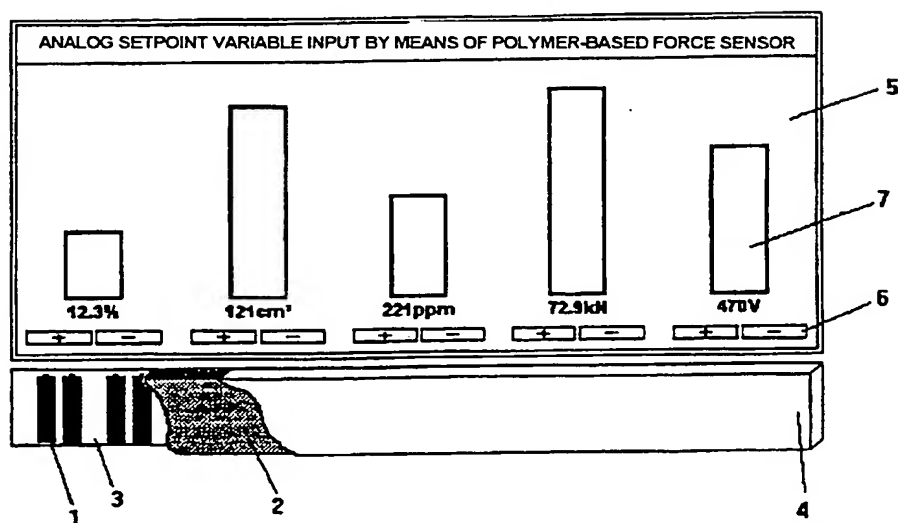


Figure 2: Exemplary embodiment as an analog input device for setpoint variables

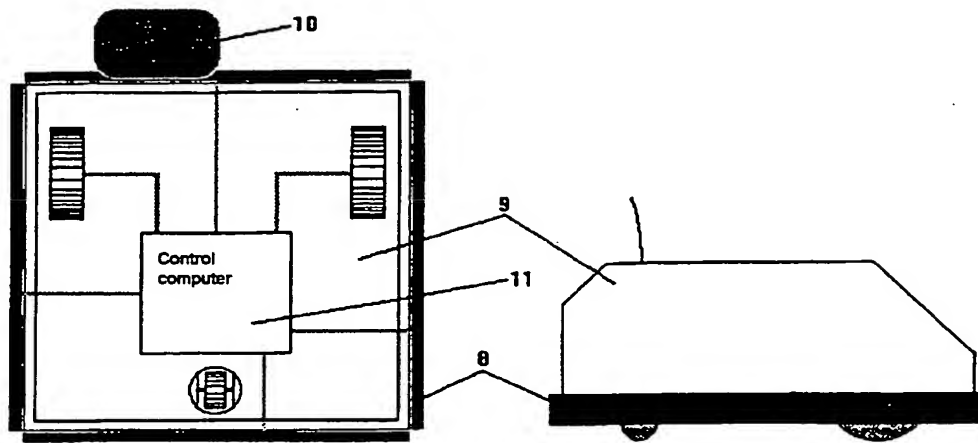


Figure 3: Exemplary embodiment as a location-resolving bumper sensor for robot vehicles

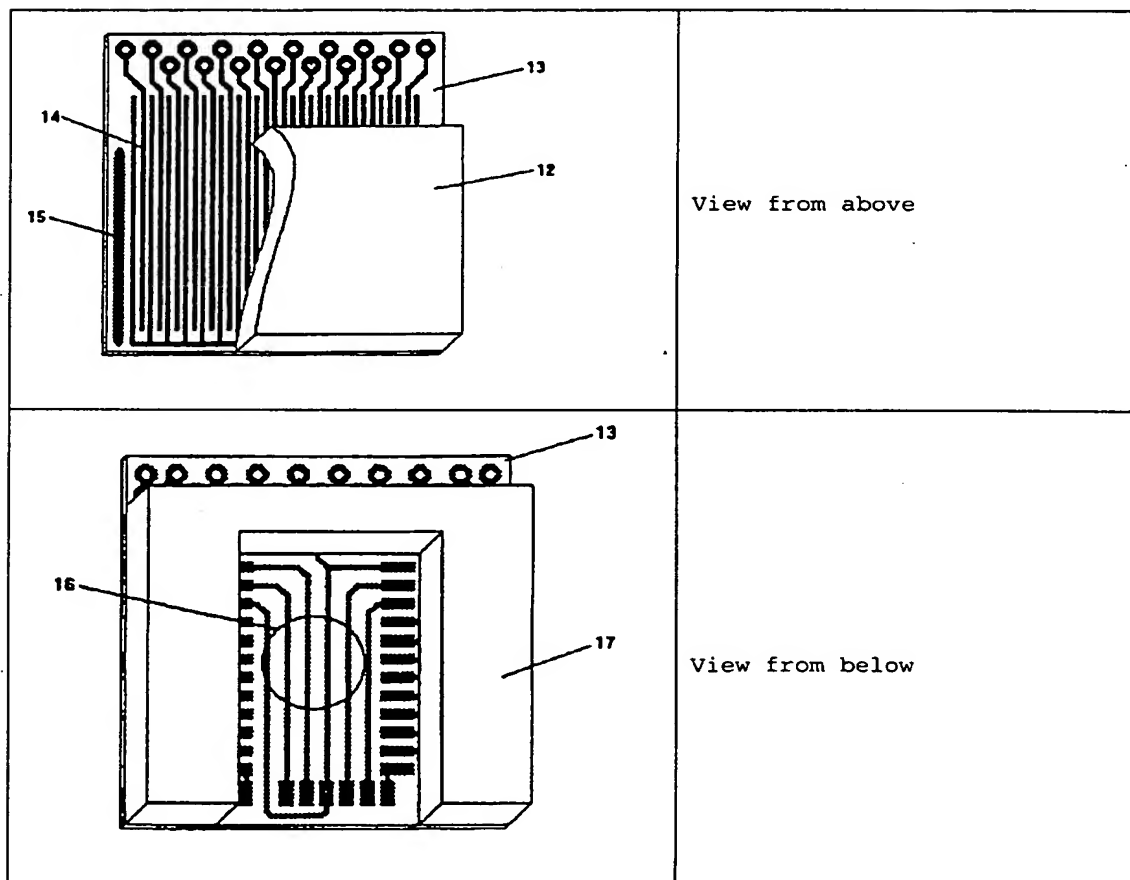


Figure 4: Exemplary embodiment as a force sensor for robot grippers

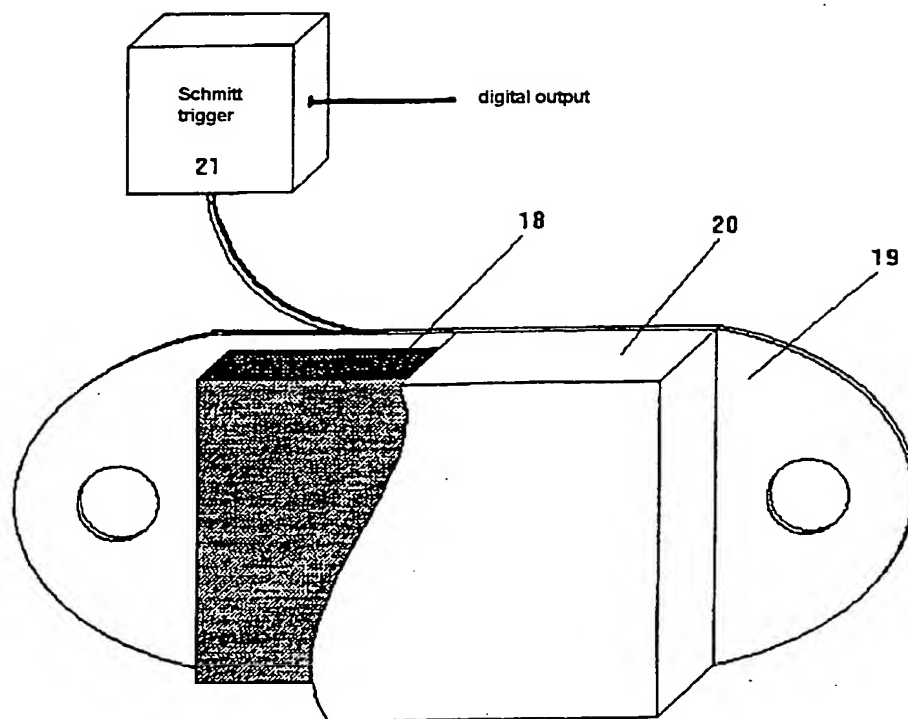


Figure 5: Exemplary embodiment as a limit switch with variable triggering threshold

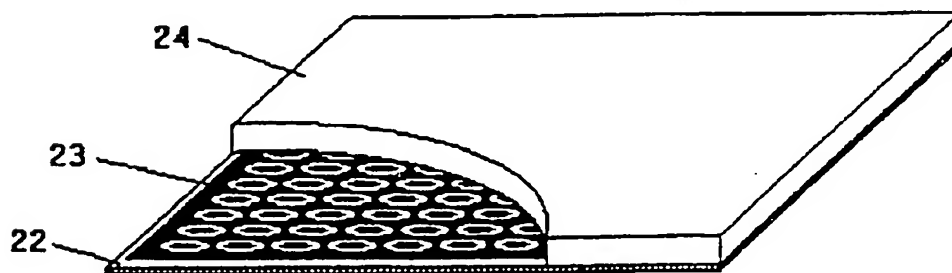


Figure 6: Exemplary embodiment of a two-dimensional sensor array